面孔宽高比的自动加工*

汪海玲 陈恩光 连玉净 李晶晶 王丽薇

(山东师范大学心理学院, 济南 250358)

摘要 研究发现, 高低面孔宽高比(facial width-to-height ratio, fWHR)在表征某男性个体实际攻击性或预测他人评价该男性个体的攻击性行为水平上存在差异, 高 fWHR 较低 fWHR 个体不仅有更强的攻击性, 也被他人评价为有更高的攻击倾向。但是, 其中的神经机制尚不清楚, 尤其是非注意条件下二者的加工机制。因而, 本研究以视觉失匹配负波(visual mismatch negativity, vMMN)为指标, 考察非注意条件下高低 fWHR 加工的神经机制。实验一给被试呈现中性情绪面孔, 要求被试完成注视点大小探测任务。结果发现, 高 fWHR 在 200~500ms, 而低 fWHR 在 200~250ms 和 300~350ms 诱发 vMMN, 在 300~350ms 高 fWHR 比低 fWHR 诱发的 vMMN 更大。实验二呈现愤怒和恐惧面孔, 结果发现, 愤怒情绪高 fWHR 在 200~250ms 和 300~400ms 诱发了 vMMN, 而恐惧情绪低 fWHR 在左半球 250~400ms 诱发 vMMN。对比实验一和二发现, 愤怒情绪较中性情绪降低了高 fWHR 的 vMMN。这些结果表明, 与个体感知攻击性水平密切相关的 fWHR 的自动加工可能受情绪信息的影响, 愤怒情绪促进高 fWHR 自动加工, 而恐惧情绪促进低 fWHR 自动加工; 但可能受情绪自动加工的影响使得愤怒情绪较中性情绪减弱了高 fWHR 的自动加工程度。

关键词 面孔, 宽高比, 情绪, vMMN, 自动加工

分类号 B842

1 引言

面孔宽高比(facial width-to-height ratio, fWHR)指的是面孔宽与高的比值; 宽指的是面孔左右颧骨最外侧之间的距离, 高指的是眉心和上唇最高点之间距离(Geniole & McCormick, 2015; Haselhuhn et al., 2015)。已有研究多聚焦于面孔宽高比对个体心理状态和社会行为感知的影响(郑治国 等, 2017)。研究发现, 面孔宽高比存在性别差异, 男性个体的 fWHR 较女性个体更大(Weston et al., 2007; Wong et al., 2011), 同时, 女性面孔宽高比与社会行为之间的关系未能得到显著结果(Goetz et al., 2013; Haselhuhn & Wong, 2012); 因而, 关于面孔宽高比的研究多采用男性面孔。大量研究表明, 男性面孔宽高比是预测他人评价该个体不良社会行为

收稿日期: 2022-12-28

* 国家自然科学基金项目(32171042)资助

通信作者: 汪海玲, E-mail: hailingwang@sdnu.edu.cn

水平的可靠指标(Geniole et al., 2015; Haselhuhn et al., 2015)。相比于拥有低 fWHR 的男性而言，拥有高fWHR的男性被认为更容易让人感觉受到威胁(Hehman, Leitner, & Gaertner, 2013), 更不可被信任(Costa et al., 2017)，当团体内部成员间存在竞争时也被评价为缺乏合作精神等(Stirrat et al., 2012)。

上述研究的理论基础主要来源于 Carré和 McCormick (2008)发现的 fWHR 与攻击性行为间的相关关系, fWHR 越高个体表现出来的实际攻击性也越强；同时，研究者进一步发现相比于拥有低 fWHR 的男性而言，拥有高 fWHR 的男性也被评价为更具有行为上的攻击性(Carré et al., 2009)，这也被之后的一系列研究所证实(Costa et al., 2017; Geniole et al., 2015; Geniole et al., 2012; Lefevre et al., 2014)。研究者认为，上述结果可能与雄性激素睾酮这一生理指标有关(Lefevre et al., 2013)。研究发现睾酮与个体表现出来的实际攻击行为有显著正相关关系(Carré et al., 2011)，同时，高低 fWHR 也被认为是睾酮浓度水平高低非常可靠的外显指标(Hehman, Leitner, Deegan & Gaertner, 2013; Lefevre et al., 2013)。也就是说，睾酮分泌量增加可能既增大了个体的 fWHR 也增强了其实际攻击性行为水平，因而，睾酮可能是 fWHR 和个体实际攻击性水平共变的生理基础。与此同时，研究者发现个体实际攻击性水平与被感知的攻击性水平存在较高相关性(Carré et al., 2009)，因而睾酮也可能使得高 fWHR 个体被感知的攻击性水平也较高。但是，这个解释尚不能明晰高低 fWHR 信息自身加工上的差异，尤其是二者时间进程上加工的神经机制。

此外，研究者认为上述研究结果还可能源于面孔宽高比和面孔情绪间的密切关系。研究发现，当向被试呈现一张中性情绪面孔时，被试更倾向于认为高 fWHR 要表达的是愤怒情绪，而低 fWHR 要表达的是恐惧情绪；而当向被试呈现一张带有愤怒、恐惧或高兴的情绪面孔时，被试能快速准确地识别高 fWHR 的愤怒情绪和低 fWHR 的恐惧和高兴情绪(Deska et al., 2018)。这表明，面孔宽高比能表达情绪信息且不受面孔自身情绪的影响。最近的一项研究也证实了这一点，随着面孔宽高比的增加被试对愤怒情绪强度的感知也增加，而对恐惧情绪强度的感知减弱(Merlhiot et al., 2021)。与此同时, Merlhiot 等人(2021)通过测量同一个体不同情绪下的面孔宽高比发现，个体表现出来的面孔情绪也会影响其实际面孔宽高比的大小；具体表现为，与中性情绪相比，愤怒和恐惧情绪分别使得眉心下移和上移，上唇上移和下移，进而分别减少和增加了面孔宽高比中的高度，而不影响宽高比中的宽度，因而，愤怒情绪使得面孔宽高比增加，而恐惧情绪使得面孔宽高比降低。此外，愤怒表情意味着表达该表情的个体将要出现攻击性行为，而恐惧表情意味着表达该表情的个体感知到环境中潜在的威胁信息(Adams et al., 2003)，这可能使得被试感知愤怒表情表达的直接威胁性比恐惧情绪大，

进而得到高低 fWHR 分别与愤怒和恐惧情绪密切相关。总之，这些研究表明，借助面孔宽高比所呈现出的愤怒和恐惧情绪信息可能是面孔宽高比与攻击性行为密切相关的重要线索(Carré et al., 2009)。

虽然研究者从不同视角探讨了面孔宽高比与个体被感知的攻击性行为水平间的关系，但是，关于面孔宽高比自身的加工机制知之甚少，尤其是其自动加工机制，这对于理解个体快速识别威胁性信号有重要的社会价值。众所周知，我们的大脑可以快速自动地完成对外界信息的加工，尤其是对个体生存具有重要意义的社会信息(Haselton & Funder, 2006; Kovarski et al., 2017)。在具有高时间分辨率特点的事件相关电位(event related potential, ERP)技术中能反映大脑前注意自动加工的指标是视觉失匹配负波(visual mismatch negativity, vMMN)，它是指在 oddball 实验范式中偶然出现的任务无关刺激和经常出现的任务无关刺激在大脑后顶枕区诱发的 ERP 差异波，具体表现为偶然出现的刺激较经常出现的刺激诱发的波幅更负(Stefanics et al., 2014)。大量研究发现，从简单的颜色(Czigler et al., 2002)、线条朝向(Fu et al., 2003)等到复杂的具有重要社会意义的面孔情绪(Stefanics et al., 2012)、性别(Kecskés-Kovács et al., 2013)、年龄(Csizmadia et al., 2021)等视觉刺激均能诱发 vMMN。这表明，我们的大脑不仅可以快速完成对简单视觉刺激的探测，而且可以对复杂视觉刺激进行自动加工。但是，面孔宽高比作为表征某个体实际攻击性或预测他人评价该个体攻击性行为倾向的可靠指标，其自动加工机制如何尚不清楚。因此，本研究将以 vMMN 为指标研究面孔宽高比的自动加工机制，试图为面孔宽高比表征某个体实际攻击性或预测他人评价该个体攻击性行为提供证据和新的视角。

此外，本研究关注了早期 P1 和 N170 成分对面孔宽高比的敏感性。虽然 P1 对刺激物理属性比较敏感，但是最近的研究发现，P1 能反映面孔知觉信息变化，面孔二阶构形信息(面孔特征间的距离信息，如双眼间距和嘴鼻距)较特征信息诱发较大的 P1(Wang et al., 2015, 2016, 2020; Wang & Fu, 2018)。同时，研究发现对面孔刺激较敏感的 N170 主要反映面孔结构编码并且对面孔构形信息变化较敏感(Eimer, 2011)。由于高低面孔宽高比都属于面孔构形信息，因而我们预测高低宽高比在 P1 和 N170 波幅上都不存在差异。但是，研究发现 N170 能区分中性和其他具体情绪面孔(Luo et al., 2010)，并且对面孔眼睛部位信息较敏感(Itier et al., 2006)，眼睛又是识别愤怒和恐惧情绪的较重要部位(Smith et al., 2005)，因而，N170 对面孔宽高比的敏感性是否随不同情绪发生变化尚不清楚。再者，尽管 N170 成分的时空分布与面孔情绪诱发的早期 vMMN 相似，但是研究者认为早期 vMMN 反映的是视觉不应性，晚期 vMMN (200ms 之后)才反映信息的自动加工(Kimura et al., 2009)。因此，我们有必要分析

N170 对不同概率面孔宽高比刺激的敏感性。

总之，本研究主要以 vMMN 为指标研究面孔宽高比在前注意加工阶段的神经机制，同时结合 ERP 技术高时间分辨率的特点以期揭示高低面孔宽高比的自动加工机制在时序上的变化。实验一采用中性情绪面孔考察没有特定情绪时高低 fWHR 的自动加工。前人研究发现，对识别和加工个体身份、种族和情绪等信息起重要作用的面孔二阶构形信息在枕颞叶区可以诱发 vMMN(Wang et al., 2022)。据此，我们预期隶属于面孔构形信息的高、低面孔宽高比信息都会诱发 vMMN。但是，从进化的角度来看，快速探测到具有威胁性的高攻击性刺激信号对个体生存有重要价值(Haselton & Funder, 2006)。因此，根据已有研究，相比于低 fWHR，个体对高 fWHR 的攻击性感知较高(Carré et al., 2009)，我们进一步预期，与低 fWHR 诱发的 vMMN 相比，高 fWHR 诱发的 vMMN 波幅较大，时程较长。同时，结合研究发现的中性情绪高低宽高比面孔在预测他人评价该个体攻击上的差异可能源于其分别被倾向于识别为愤怒和恐惧情绪(Deska et al., 2018)，以及愤怒较恐惧情绪更可能表达直接威胁性信息(Adams et al., 2003)，也可以得到上述实验一的预期结果。实验二采用愤怒和恐惧情绪面孔为解释情绪在 fWHR 与攻击性行为间关系的作用提供证据。根据已有研究，高低 fWHR 分别与愤怒和恐惧情绪密切相关(Deska et al., 2018; Merlhiot et al., 2021)，如果实验一的解释成立，即具体情绪在面孔宽高比预测他人评价某个体攻击性水平中起作用，那么我们预期愤怒情绪促进高 fWHR 的自动加工，而恐惧情绪促进低 fWHR 的自动加工。最后，通过对比实验一和实验二可以考察面孔情绪线索明确性对高低 fWHR 自动加工程度的影响。

2 实验一

2.1 方法

2.1.1 被试

根据 G*Power (Faul et al., 2007)计算，对于本实验采用的 2 (fWHR：高 vs. 低) ×2 (刺激类型：标准 vs. 偏差)的被试内实验设计至少需要 33 名被试(η_p^2 = 0.06，检验力：80%，α = 0.01; Wang et al., 2022)才能得到高低宽高比面孔诱发 vMMN 的差异。最终招募 41 名被试(女生 19 名, 21.05 ± 1.70 岁)，所有被试身体健康，视力正常或校正后正常，实验前均签署知情同意书。本实验已得到山东师范大学心理学院伦理研究委员会的批准。

2.1.2 实验材料

本实验所用面孔刺激选自中国面孔情绪图片库(Chinese Facial Affective Picture System,

CAFPS, 龚栩 等, 2011), 并使用 Image J (National Institutes of Health open-source software)软件测量 113 张男性中性情绪(即图片库中平静情绪)面孔的 fWHR——左右颧骨之间的距离(宽度)以及眉心和上唇最高点之间的距离(高度; Carré & McCormick, 2008; Weston et al., 2007), 宽度除以高度得到所有面孔 fWHR 的平均值和标准差(比值: 1.620 ± 0.080)。根据已有研究(Carré et al., 2013), 高于平均值一个标准差为高 fWHR, 低于平均值一个标准差为低 fWHR。最终得到 3 张高 fWHR (fWHR: 1.744、1.745、1.781)和 3 张低 fWHR (fWHR: 1.436、1.520、1.520)面孔(图 1), 高 fWHR 值显著高于低 fWHR, $t(4) = 8.669$, $p = 0.001$, Cohen's $d = 0.962$。根据图片库提供的信息, 本实验所使用中性情绪面孔高、低 fWHR 的情绪认同度分别为 80.073% ± 5.362% vs. 76.087% ± 8.490%, 情绪强度的评分分别为 5.775 ± 0.075 vs. 5.608 ± 0.138 (1 为最弱, 9 为最强); 高、低 fWHR 的情绪认同度和强度值都不存在显著差异($ps \geq 0.466$), 这表明, 高低宽高比面孔情绪强度和认同度的差异在一定程度上得到控制, 较少或不影响我们对实验主要结果宽高比机制的分析。我们通过 Photoshop CC 14.0 (Adobe Systems)软件对面孔进行处理, 调整其大小为 6.6° ×7.7° (170 × 198 像素)。

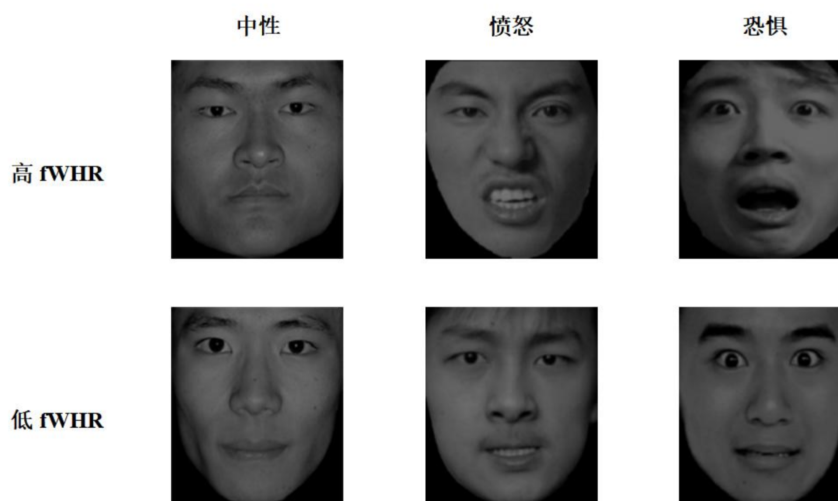


图 1 实验刺激图片示例。中性情绪面孔用于实验一, 愤怒和恐惧情绪面孔用于实验二。

2.1.3 实验程序

实验一采用与已有研究相似的反向 oddball 实验范式(Stefanics et al., 2012; Wang et al., 2014; Wang et al., 2022), 在该范式中同一个刺激在不同 block 中既是偏差刺激也是标准刺激, 这样可以允许我们考察相同物理刺激诱发的 vMMN, 从而减少低级物理刺激属性对 ERP 成分的影响。正式实验由 2 个 block 组成, 每个 block 共有 300 个试次, 其中标准刺激 240 个试次(80%), "+"大小为 24 号; 偏差刺激 30 个试次(10%), "+"大小为 24 号; 目标刺激 30 个试次(10%), "+"大小为 32 号, 但是其所呈现的面孔为标准刺激面孔。所有刺激在每个 block 中随

机呈现, block 顺序在被试间进行平衡。在一个 block 中高 fWHR 作为偏差刺激, 低 fWHR 作为标准刺激和目标刺激, 因而, 每张高、低 fWHR 刺激分别呈现 10 次和 90 次; 在另一个 block 中低 fWHR 作为偏差刺激, 高 fWHR 作为标准刺激和目标刺激, 因而, 每张高、低 fWHR 刺激分别呈现 90 次和 10 次。

每个试次开始时先呈现 200ms 注视点"+", 之后呈现高或低 fWHR 刺激 300ms, 然后呈现 450ms 的反应屏, 最后呈现 600~800ms 随机间隔。注视点始终呈现在屏幕中, 被试需要探测面孔刺激呈现时"+"的变化, 当它变大(即由"24"号变为"32"号)时按 F 或 J 键。被试的按键反应从刺激呈现屏开始计算, 按键顺序在被试间进行平衡。所有的刺激使用 E-Prime 2.0 (Pittsburgh, PA, USA)呈现在 19 英寸 DELL 显示器上(分辨率: 1024 × 768 像素; 刷新率: 60 Hz), 屏幕中心与被试的距离为 60cm。

2.2 脑电记录与处理

脑电记录使用美国 Neuroscan 公司生产的 EEG 系统。被试佩戴 64 导脑电帽, 以左眼眶额上、下部的两电极记录垂直眼电(VEOG), 以两眼外侧 1.5cm 处的两电极记录水平眼电(HEOG)。采集数据时, 信号阻率小于 10 kΩ, 采样率为 500 Hz, 滤波为 0.05~100Hz, 物理参考电极位于 CZ 和 CPZ 之间。原始数据由基于 MATLAB (R2015a, The MathWorks, Natick, MA)的插件 letswave7 (https://letswave.cn)进行预处理, 使用 band-pass 滤波方式过滤出了 0.1~30Hz 频率的信号, 采用全脑电极平均的方式进行参考重设, 使用独立成分分析算法识别并去除眼动成分。面孔刺激出现前 200ms 至出现后 600ms (–200~600ms)进行分段, 分段后根据 ± 75μV 的信号范围对所有分段的数据进行了伪迹去除。高 fWHR 偏差刺激、高 fWHR 标准刺激、低 fWHR 偏差刺激和低 fWHR 标准刺激的试次数分别是 23.44 ± 3.96、208.34 ± 37.66、24.29 ± 3.73、218.78 ± 35.44。

基于已有研究(Kecskés-Kovács et al., 2013)和本实验脑电地形图, 选择后部 P3/4、PO5/6 和 PO7/8 电极, 对 P1 (90~120 ms)、N170 (130~200 ms)成分的波幅(峰基线值, 即相应时间段内波幅最高点和最低点分别到基线 X 轴的垂直距离)和峰潜伏期(相应时间段内波幅最高点和最低点出现的时间点)及 vMMN 成分所在时间窗口内的平均波幅进行了 2 (fWHR: 低、高) × 2 (刺激类型: 偏差刺激、标准刺激) × 3 (电极: P3/P4、PO5/PO6、PO7/PO8) × 2 (半球: 左半球、右半球)的重复测量方差分析。本研究采用 SPSS Statistics 21.0 (Armonk, NY: IBM Corp)进行统计分析, 非球形性时使用 Greenhouse-Geisser 校正 p 值, 利用 Bonferroni 校正来解释多重比较和事后分析。

对 vMMN 成分进行传统常规分析方法前, 我们采用基于从聚的置换检验(cluster-based

permutation test)进行探索性分析来确定 vMMN 成分时域分析时间窗口并控制多重比较问题。ERP 传统分析方法侧重于分析特定时间窗口内记录的单个电极或一小组电极上的数据，基于从聚的置换检验通过构建一个假定两个实验条件没有差异的零分布与实际观测进行对比(Maris & Oostenveld, 2007)，允许对 ERP 振幅在所有电极和所有时间样本上进行比较(Sassenhagen & Draschkow, 2019)。虽然本实验是两因素实验设计，但是我们对感兴趣的两个实验条件进行了配对样本 t 检验，具体对比如下：(1)高 fWHR 条件下标准刺激和偏差刺激的差异；(2)低 fWHR 条件下标准刺激和偏差刺激的差异；(3)以标准刺激和偏差刺激反应之差作为 vMMN 指标，高 fWHR 和低 fWHR 条件下的 vMMN 差异。原因在于，研究者认为基于从聚的置换检验不能保证方差分析的有效性(Groppe et al., 2011)，同时已有采用基于从聚的置换检验的研究也是进行的配对样本 t 检验分析(Vormbrock et al., 2023; Zochowska et al., 2021)。本研究选取刺激呈现后的 0~600 ms 作为置换检验时间窗口对所有电极点的反应进行分析，使用配对样本 t 检验比较感兴趣两个条件在所有电极点以及时间上的差异，差异在 0.05 水平上显著且在时间和空间位置上邻近的数据点将会被认定为从聚。之后计算每个从聚内所有电极－时间点的 t 值之和作为从聚水平统计量，使用蒙特卡罗法(Monte Carlo method)进行显著性检验($\alpha = 0.05$)，随机抽样 2000 次。

2.3 结果

2.3.1 行为结果

对正确率和反应时分别进行配对样本 t 检验结果显示，对高宽高比目标(98.79% ± 0.25%)和低宽高比目标(98.96% ± 0.13%)反应的正确率不存在显著差异($p = 0.366$)；低宽高比目标刺激(544 ± 7 ms)的反应时显著快于高宽高比目标刺激(563 ± 7 ms), $t(40) = –5.851$, $p < 0.001$, Cohen’s $d = 0.816$, 95% CI = [–28.158, –12.454]。

2.3.2 ERP 结果

P1

波幅结果显示，半球主效应显著，$F(1, 40) = 4.109$, $p = 0.049$, $\eta_p^2 = 0.093$; fWHR 主效应不显著($p = 0.825$)。潜伏期结果显示，刺激类型主效应显著，$F(1, 40) = 20.569$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.340$。fWHR ×刺激类型×电极×半球的交互作用显著，$F(2, 80) = 6.189$, $p = 0.005$, $\eta_p^2 = 0.134$, 在 PO5/6 和 PO7/8 电极上高 fWHR 偏差刺激诱发的 P1 早于标准刺激(PO5: 113 ± 1 vs. 117 ± 1 ms, $p = 0.024$, 95% CI = [–0.006, –0.000], PO6: 113 ± 1 vs. 115 ± 1 ms, 95% CI = [–0.004, –0.001], $p = 0.041$; PO7: 110 ± 2 vs. 116 ± 1 ms, $p = 0.001$, 95% CI = [–0.009, –0.003], PO8: 112

± 1 vs. 115 ± 1 ms, $p = 0.017$, 95% CI = [–0.004, –0.000]), 在 PO8 电极上低 fWHR 偏差刺激诱发更早的 P1 (110 ± 2 vs. 114 ± 1 ms, $p = 0.011$, 95% CI = [–0.007, –0.001])。

N170

波幅结果显示, 刺激类型的主效应显著, $F(1, 40) = 11.128$, $p = 0.002$, $\eta_p^2 = 0.206$, 偏差刺激比标准刺激诱发更负的 N170 (–1.419 ± 0.372 vs. –0.972 ± 0.551 μV, 95% CI = [–0.717, –0.177])。fWHR ×刺激类型交互作用显著, $F(1, 40) = 17.125$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.285$, 高 fWHR 的偏差刺激较标准刺激诱发更负的 N170 (–1.717 ± 0.589 vs. –0.571 ±0.534 μV, $p < 0.001$, 95% CI = [–1.588, –0.703]), 低 fWHR 的偏差刺激与标准刺激诱发波幅差异不显著($p = 0.242$)。潜伏期结果显示, 刺激类型×半球交互作用显著, $F(1, 40) = 5.037$, $p = 0.027$, $\eta_p^2 = 0.117$, 右半球标准刺激比偏差刺激诱发更早的 N170 (168 ± 3 vs. 170 ± 3 ms, $p = 0.048$, 95% CI = [–0.004, –0.000])。

vMMN

基于从聚的置换检验结果显示, 高低 fWHR 标准刺激与偏差刺激的差异在时间和空间上广泛分布。高 fWHR 条件下标准刺激与偏差刺激的差异在我们感兴趣的枕颞叶区(除 P1, P2, PZ)表现为, 在刺激呈现后 228~600ms 间偏差刺激较标准刺激诱发的波幅更负。相反, 低 fWHR 条件下标准刺激和偏差刺激的差异在刺激呈现后 300~600ms 的枕颞叶区域(P1, P3, PZ, PO3, PO4, PO5, PO7, PO8, POZ)表现为偏差刺激较标准刺激诱发的波幅更正。重要的是, 对比高、低 fWHR 诱发的 vMMN 发现, 枕颞叶区域(P1, P3, P4, P5, P6, P7, P8, PO3, PO4, PO5, PO6, PO7, PO8, POZ)在刺激呈现后 254~600ms 内差异显著, 高 fWHR 诱发的 vMMN 显著大于低 fWHR(图 2)。结合上述基于从聚的置换检验结果以及已有研究中对 vMMN 成分的分析(200~440ms, Wang et al., 2022), 本研究选取 200~500ms 作为时间窗口对 vMMN 成分进行重复测量方差分析。

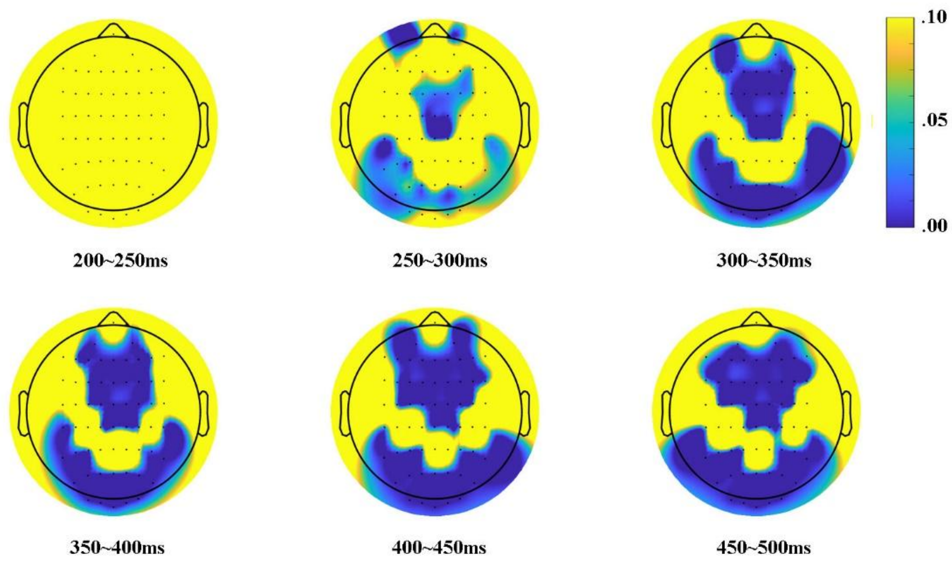


图 2 实验一基于从聚的置换检验结果。高 fWHR 和低 fWHR 诱发的 vMMN 存在显著差异的从聚 p 值地形图。

200~500ms 结果显示，刺激类型主效应显著，$F(1, 40) = 52.173$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.566$，偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(2.576 ± 0.471 vs. 3.323 ± 0.449 μV, 95% CI = [–0.955, –0.538])，表明该时间段存在 vMMN 成分。此外，fWHR ×刺激类型交互作用显著，$F(1, 40) = 21.588$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.351$; fWHR ×刺激类型×电极交互作用显著，$F(2, 80) = 7.493$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.158$，进一步分析发现，在 P3/4、PO5/6 和 PO7/8 电极上，高 fWHR 偏差刺激较标准刺激诱发的波幅更负($ps < 0.001$, P3/4: 2.463 ± 0.386 vs. 3.282 ± 0.395 μV, 95% CI = [–1.178, –0.460], PO5/6: 2.617 ± 0.614 vs. 4.382 ± 0.585 μV, 95% CI = [–2.276, –1.255], PO7/8: 1.506 ± 0.545 vs. 3.463 ± 0.548 μV, 95% CI = [–2.495, –1.420])，低 fWHR 的偏差刺激与标准刺激诱发波幅差异不显著($ps \geq 0.456$)。这表明，高 fWHR 能够诱发 vMMN，进行自动加工。

已有研究发现面孔构形信息的自动加工存在时序上的变化(Wang et al., 2022)，本实验基于从聚的置换检验结果也显示高低 fWHR 诱发的 vMMN 存在时间窗的差异，高 fWHR 在感兴趣电极点(P3/4; PO5/6; PO7/8)上诱发的 vMMN 表现为刺激呈现 228ms 后连续出现，低 fWHR 在感兴趣电极点(P3, PO5, PO7/8)上的 vMMN 以 16~124ms (平均值为 50.44ms)的时间片段断续出现。因此，为了更清楚地考察不同时间段内高、低宽高比面孔诱发的 vMMN，接下来我们对 vMMN 以 50ms 为时间窗口进行分段统计分析(图 3)，以便更清楚地研究其时间进程，类似的时间窗划分在已有面孔 vMMN (Kreegipuu et al., 2013; Wang et al., 2022; Wang et al., 2014)研究中也被使用过。如果能得到刺激类型与其他自变量间显著的交互作用，尤其是 fWHR ×刺激类型间显著的交互作用，并且简单效应分析能得到高、低 fWHR 都能诱发

vMMN(偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负)，那么我们将以 vMMN (偏差刺激诱发的波幅减去标准刺激诱发的波幅)为指标做进一步分析，考察高、低 fWHR 自动加工程度的差异。

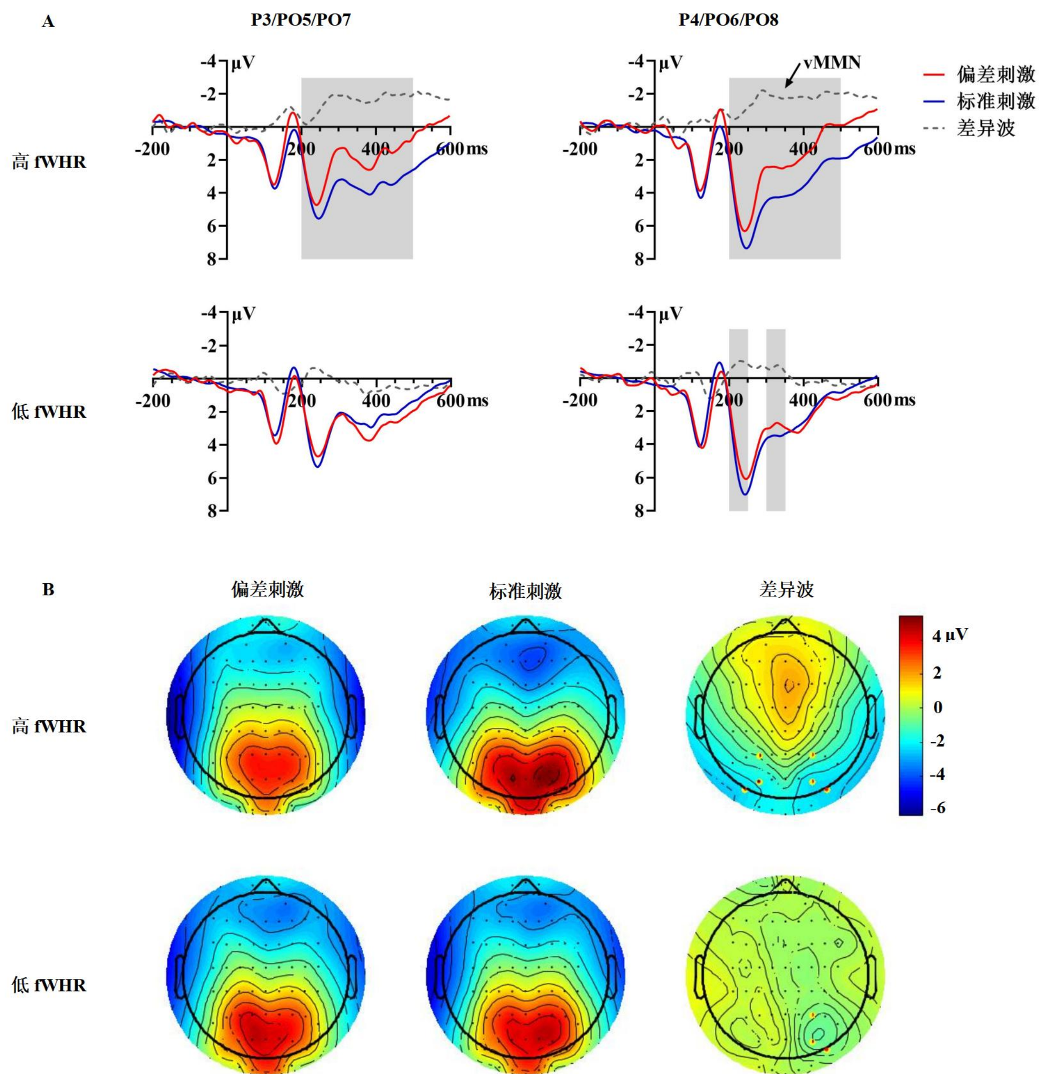


图 3 实验一 ERP 结果波形图(A)和 300~350ms 的地形图(B)。差异波指的是由偏差刺激减去标准刺激诱发的 ERP 波形。(A)阴影部分指的是偏差刺激诱发波幅较标准刺激更负，即存在 vMMN 的时间窗；(B)黄色圆点指的是偏差刺激诱发波幅较标准刺激更负的电极点(P3/4、PO5/6 和 PO7/8)。

200~250ms 结果显示，刺激类型主效应显著，$F(1, 40) = 23.502$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.370$，偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(4.117 ± 0.591 vs. 4.685 ± 0.582 μV, 95% CI = [–0.804, –0.331])。此外，刺激类型×半球交互作用显著，$F(1, 40) = 4.537$, $p = 0.039$, $\eta_p^2 = 0.102$，左右半球上均表现为偏差刺激较标准刺激诱发的波幅更负($ps \leq 0.003$，左半球：3.749 ± 0.622 vs. 4.137 ± 0.621 μV, 95% CI = [–0.633, –0.143]，右半球：4.485 ± 0.664 vs. 5.233 ± 0.654 μV, 95% CI = [–1.079, –0.416])。以 vMMN 为指标进行分析发现，右半球诱发的 vMMN 更大($p = 0.039$, 95% CI = [–0.700, –0.018])。

250~300ms 结果显示，刺激类型主效应显著，$F(1, 40) = 55.353$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.581$，偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(3.513 ± 0.552 vs. 4.496 ± 0.531 μV, 95% CI = [–1.250, –0.716])。重要的是，fWHR ×刺激类型交互作用显著，$F(1, 40) = 11.149$, $p = 0.002$, $\eta_p^2 = 0.218$，高 fWHR 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(3.273 ± 0.562 vs. 4.869 ± 0.553 μV, $p < 0.001$, 95% CI = [–2.043, –1.150])，低 fWHR 的偏差刺激与标准刺激诱发波幅差异不显著($p = 0.119$)。此外，刺激类型×半球交互作用显著，$F(1, 40) = 4.733$, $p = 0.036$, $\eta_p^2 = 0.106$，左右半球上均表现为偏差刺激较标准刺激诱发的波幅更负($ps \leq 0.001$，左半球：3.126 ± 0.561 vs. 3.919 ± 0.530 μV, 95% CI = [–1.113, –0.474]，右半球：3.900 ± 0.670 vs. 5.073 ± 0.655 μV, 95% CI = [–1.494, –0.852])。以 vMMN 为指标进行分析发现，右半球诱发的 vMMN 更大($p = 0.036$, 95% CI = [–0.733, –0.027])。

300~350ms 结果显示，刺激类型主效应显著，$F(1, 40) = 72.457$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.644$，偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(2.368 ± 0.511 vs. 3.313 ± 0.490 μV, 95% CI = [–1.168, –0.720])。重要的是，fWHR ×刺激类型交互作用显著，$F(1, 40) = 16.713$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.295$，高 fWHR 偏差刺激较标准刺激诱发的波幅更负(2.026 ± 0.532 vs. 3.725 ± 0.510 μV, $p < 0.001$, 95% CI = [–2.114, –1.284])，低 fWHR 的偏差刺激与标准刺激诱发波幅差异不显著($p = 0.405$)。此外，fWHR ×刺激类型×半球的交互作用显著，$F(1, 40) = 6.436$, $p = 0.015$, $\eta_p^2 = 0.139$，在左半球高 fWHR 偏差刺激较标准刺激诱发的波幅更负(1.820 ± 0.544 vs. 3.490 ± 0.535 μV, $p < 0.001$, 95% CI = [–2.115, –1.224])，右半球高、低 fWHR 偏差刺激较标准刺激诱发的波幅更负($ps \leq 0.009$，高 fWHR: 2.231 ± 0.628 vs. 3.959 ± 0.591 μV, 95% CI = [–2.217, –1.240]，低 fWHR: 2.563 ± 0.648 vs. 3.256 ± 0.588 μV, 95% CI = [–1.207, –0.179])。以 vMMN 为指标进行分析发现，高 fWHR 比低 fWHR 在右半球上诱发更大的 vMMN(–1.728 ± 0.242 vs. –0.693 ± 0.254 μV, $p = 0.010$, 95% CI = [–1.804, –0.266])。

350~400ms 结果显示，刺激类型主效应显著，$F(1, 40) = 21.817$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.353$，偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(2.654 ± 0.454 vs. 3.236 ± 0.418 μV, 95% CI = [–0.834, –0.330])。重要的是，fWHR ×刺激类型交互作用显著，$F(1, 40) = 32.146$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.446$，高 fWHR 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(2.104 ± 0.483 vs. 3.692 ± 0.443 μV, $p < 0.001$, 95% CI = [–2.064, –1.113])，而低 fWHR 标准刺激诱发的波幅较偏差刺激更负(2.780 ± 0.419 vs. 3.205 ± 0.470 μV, $p = 0.037$, 95% CI = [–0.823, –0.027])。此外，刺激类型×半球交互作用显著，$F(1, 40) = 8.960$, $p = 0.005$, $\eta_p^2 = 0.183$，左右半球上均表现为偏差刺激较标准刺激诱发的波幅更负($ps \leq 0.023$，左半球：2.921 ± 0.469 vs. 3.245 ± 0.441 μV, 95% CI = [–0.602, –0.048],

右半球: 2.387 ± 0.548 vs. 3.226 ± 0.483 μV, 95% CI = [–1.171, –0.507])。以 vMMN 为指标进行分析发现, 右半球诱发的 vMMN 更大($p = 0.005$, 95% CI = [–0.862, –0.167])。

400~450ms 结果显示, 刺激类型主效应显著, $F(1, 40) = 31.429$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.440$, 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(1.764 ± 0.449 vs. 2.453 ± 0.421 μV, 95% CI = [–0.913, –0.426])。fWHR ×刺激类型交互作用显著, $F(1, 40) = 30.727$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.434$, 高 fWHR 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(1.163 ± 0.463 vs. 2.936 ± 0.431 μV, $p < 0.001$, 95% CI = [–2.231, –1.316]), 低 fWHR 的偏差刺激与标准刺激诱发波幅差异不显著($p = 0.077$)。

450~500ms 结果显示, 刺激类型主效应显著, $F(1, 40) = 34.891$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.466$, 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(0.991 ± 0.452 vs. 1.722 ± 0.422 μV, 95% CI = [–0.981, –0.481])。fWHR ×刺激类型交互作用显著, $F(1, 40) = 36.899$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.480$, 高 fWHR 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(0.331 ± 0.449 vs. 2.231 ± 0.434 μV, $p < 0.001$, 95% CI = [–1.889, –0.752]), 而低 fWHR 标准刺激诱发的波幅较偏差刺激更负(1.212 ± 0.431 vs. 1.651 ± 0.497 μV, $p < 0.001$, 95% CI = [–1.392, –0.646])。

综上, 对 200~500ms 平均波幅的分析发现, fWHR 能诱发 vMMN。具体表现为, 高 fWHR 在整个时间窗口上均诱发了 vMMN, 低 fWHR 仅在 200~250ms 和 300~350ms 时间窗口上诱发了 vMMN。虽然低 fWHR 在 350~400ms 和 450~500ms 时间段也能得到偏差刺激与标准刺激间的显著差异, 但是, 这时表现出的差异是标准刺激比偏差刺激更负。根据已有研究, vMMN 指的是偏差刺激比标准刺激诱发的波幅更负的结果, 而标准刺激比偏差刺激更负的结果则被称作 vMMP (visual Mismatch Positivity; Sulykos & Czigler, 2011), 因而, 低 fWHR 在 350~400ms 和 450~500ms 诱发的不是 vMMN。值得注意的是, 以 vMMN 为指标的分析发现, 在 300~350ms 高 fWHR 比低 fWHR 诱发更大的 vMMN。总之, 本实验结果表明, 与低 fWHR 相比, 高 fWHR 的自动加工时间较长, 强度更大。

3 实验二

3.1 方法

3.1.1 被试

根据 G*Power (Faul et al., 2007)计算, 实验二至少需要 22 名被试($\eta_p^2 = 0.06$, 检验力: 80%, $\alpha = 0.01$)才能得到 2 (情绪: 愤怒 vs. 恐惧) × 2 (fWHR: 高 vs. 低) × 2 (刺激类型: 标准 vs. 偏差)重复测量方差分析的交互作用。最终 25 名被试(女生 13 名, 20.56 ± 1.635 岁)进行了实验, 所有被试身体健康, 视力正常或校正后正常, 在实验前均签署知情同意书。本

实验已得到山东师范大学心理学院伦理研究委员会的批准。

3.1.2 实验材料

从 CAFPS 图片库选取男性恐惧情绪和愤怒情绪面孔各 37 张。与实验一相同，使用 ImageJ 测量得到男性恐惧情绪面孔 fWHR 的平均值和标准差(1.760 ± 0.152)、愤怒情绪面孔 fWHR 的平均值和标准差(1.690 ± 0.153)，选取高于平均值一个标准差为高 fWHR，低于平均值一个标准差为低 fWHR，最终得到 6 张高 fWHR 愤怒情绪面孔(fWHR: 1.949 ± 0.147)、6 张高 fWHR 恐惧情绪面孔(fWHR: 2.000 ± 0.135)、6 张低 fWHR 愤怒情绪面孔(fWHR: 1.505 ± 0.058)及 6 张低 fWHR 恐惧情绪面孔(fWHR: 1.558 ± 0.067；图 1)；愤怒和恐惧情绪高 fWHR 值都显著大于低 fWHR，愤怒: $t(10) = 6.262$, $p < 0.001$, Cohen's $d = 0.874$；恐惧: $t(10) = 6.568$, $p < 0.001$, Cohen's $d = 0.885$。根据图片库提供的信息，本实验所使用愤怒情绪面孔高、低 fWHR 的情绪认同度分别为 81.313% ± 12.218% vs. 75.597% ± 15.152%，情绪强度的评分分别为 6.305 ± 1.658 vs. 6.153 ± 1.285；恐惧情绪面孔高、低 fWHR 的情绪认同度分别为 73.232% ± 7.498% vs. 72.317% ± 9.425%，情绪强度的评分分别为 6.003 ± 0.762 vs. 6.354 ± 1.189。我们对愤怒和恐惧情绪高低 fWHR 的情绪认同度和强度值分别进行 2 (fWHR：高、低) × 2 (面孔情绪：愤怒、恐惧)统计分析，结果未发现任何显著差异($ps \geq 0.359$)；这表明，愤怒和恐惧情绪高低宽高比面孔的情绪强度和认同度的差异在一定程度上得到控制，较少或不影响我们对实验主要结果宽高比机制的分析。

3.1.3 实验程序

与实验一相同，实验二采用反向 oddball 实验范式，共包含 4 个 block，愤怒情绪和恐惧情绪分别由两个 block 组成。每个 block 有 600 个试次，其中标准刺激 420 个试次(70%)，“+”大小为 24 号；偏差刺激 120 个试次(20%)，“+”大小为 24 号；目标刺激 60 个试次(10%)，“+”大小为 32 号，但是其所呈现的面孔与标准刺激一致。其他与实验 1 相同。对于愤怒情绪，一个 block 是高 fWHR 愤怒情绪面孔作为偏差刺激，低 fWHR 愤怒情绪面孔作为标准刺激和目标刺激，因而，每张高、低 fWHR 刺激分别呈现 20 次和 80 次；另一个 block 是低 fWHR 愤怒情绪面孔作为偏差刺激，高 fWHR 愤怒情绪面孔作为标准刺激和目标刺激，因而，每张高、低 fWHR 刺激分别呈现 80 次和 20 次；恐惧情绪同理。

3.2 脑电记录与处理

脑电记录与分析方法和实验一相同。其中，高 fWHR 愤怒情绪面孔偏差刺激、低 fWHR 愤怒情绪面孔标准刺激、低 fWHR 愤怒情绪面孔偏差刺激、高 fWHR 愤怒情绪面孔标准刺

激的试次数分别是 110.44 ± 18.29、390.08 ± 61.45、106.16 ± 17.76、366.40 ± 64.78；高 fWHR 恐惧情绪面孔偏差刺激、低 fWHR 恐惧情绪面孔标准刺激、低 fWHR 恐惧情绪面孔偏差刺激、高 fWHR 恐惧情绪面孔标准刺激的试次数分别是 107.72 ± 16.87、379.76 ± 54.76、112.32 ± 13.15、392.52 ± 47.23。本实验对 P1 (90~120 ms)、N170 (130~200 ms)成分的波幅(峰基线值)和峰潜伏期及 vMMN 成分所在时间段的平均波幅进行 2 (fWHR：低、高) × 2 (刺激类型：偏差刺激、标准刺激) × 2 (面孔情绪：愤怒、恐惧) × 3 (电极：P3/P4、PO5/PO6、PO7/PO8) × 2 (半球：左半球、右半球)的重复测量方差分析。非球形性时使用 Greenhouse-Geisser 校正 p 值，利用 Bonferroni 校正来解释多重比较和事后分析。基于从聚的置换检验进行的配对样本 t 检验分析如下：(1)标准刺激和偏差刺激的差异；(2)高 fWHR 条件下，愤怒和恐惧情绪下 vMMN 的差异；(3)低 fWHR 条件下，愤怒和恐惧情绪下 vMMN 的差异。

3.3 结果

3.3.1 行为结果

愤怒情绪高 fWHR、愤怒情绪低 fWHR、恐惧情绪高 fWHR 和恐惧情绪低 fWHR 目标面孔的正确率分别为 99.19% ± 0.17%、99.38% ± 0.11%、99.32% ± 0.13%、99.36% ± 0.12%；反应时分别为 580 ± 12 ms、582 ± 12 ms、570 ± 12 ms、567 ± 12 ms。对正确率和反应时分别进行 2 (fWHR：低、高) × 2 (面孔情绪：愤怒、恐惧)重复测量方差分析发现，正确率上不存在任何显著效应($ps \geq 0.092$)；反应时上发现情绪主效应显著，$F(1, 24) = 10.437$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.303$，愤怒情绪目标面孔的反应时显著长于恐惧情绪(581 ± 12 vs. 568 ± 12 ms, 95% CI = [4.593, 20.840])，其他效应均不显著($ps \geq 0.485$)。

3.3.2 脑电结果

P1

波幅结果显示，刺激类型主效应显著，$F(1, 24) = 7.006$, $p = 0.014$, $\eta_p^2 = 0.226$，偏差刺激比标准刺激诱发更正的 P1 (3.698 ± 0.236 vs. 3.572 ± 0.217 μV, 95% CI = [0.028, 0.225])；fWHR 主效应不显著($p = 0.188$)。情绪× fWHR 的交互作用显著，$F(1, 24) = 5.892$, $p = 0.023$, $\eta_p^2 = 0.197$，情绪× fWHR ×半球的交互作用显著，$F(1, 24) = 5.781$, $p = 0.024$, $\eta_p^2 = 0.194$；在左半球，高 fWHR 恐惧面孔比愤怒面孔诱发更大 P1 (3.295 ± 0.240 vs. 3.002 ± 0.210 μV, p = 0.004, 95% CI = [0.102, 0.485])。

潜伏期结果显示，情绪主效应显著，$F(1, 24) = 6.820$, $p = 0.015$, $\eta_p^2 = 0.221$，情绪和半球的交互作用显著，$F(1, 24) = 5.041$, $p = 0.034$, $\eta_p^2 = 0.174$，在右半球发现愤怒情绪面孔比恐惧

情绪诱发更早的 P1 (114 ± 1 vs. 116 ± 1 ms, p = 0.007, 95% CI = [–0.002, –0.000])。

N170

波幅结果显示，情绪× fWHR ×半球的交互作用显著，$F(1, 24) = 5.646$, $p = 0.026$, $\eta_p^2 = 0.190$，在右半球，愤怒情绪高 fWHR 比低 fWHR 诱发更负 N170 (–3.355 ± 0.703 vs. –3.057 ± 0.697 µV, p = 0.008, 95% CI = [–0.444, –0.229])，其他条件差异不显著($ps \geq 0.161$)。

潜伏期结果显示，情绪主效应显著，$F(1, 24) = 9.276$, $p = 0.006$, $\eta_p^2 = 0.279$，愤怒情绪比恐惧情绪诱发更早的 N170 (180 ± 2 vs. 182 ± 2 ms, 95% CI = [–0.003, –0.001])。fWHR 主效应显著，$F(1, 24) = 26.999$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.529$，高 fWHR 比低 fWHR 诱发更早的 N170 (180 ± 2 vs. 182 ± 2 ms, 95% CI = [–0.003, –0.001])。此外，情绪× fWHR 交互作用显著，$F(1, 24) = 5.122$, $p = 0.033$, $\eta_p^2 = 0.176$，情绪× fWHR ×电极交互作用显著，$F(2, 48) = 4.904$, $p = 0.018$, $\eta_p^2 = 0.170$；进一步分析发现，在 PO5/6 电极上，愤怒和恐惧情绪均表现为高 fWHR 比低 fWHR 诱发更早 N170 (愤怒: 180 ± 2 vs. 184 ± 2 ms, p = 0.002, 95% CI = [–0.006, –0.002]，恐惧: 183 ± 2 vs. 184 ± 2 ms, p = 0.004, 95% CI = [–0.003, –0.001])，在 PO7/8 电极上表现为愤怒情绪高 fWHR 比低 fWHR 诱发更早 N170 (178 ± 2 vs. 182 ± 2 ms, $p < 0.001$, 95% CI = [–0.005, –0.002])。

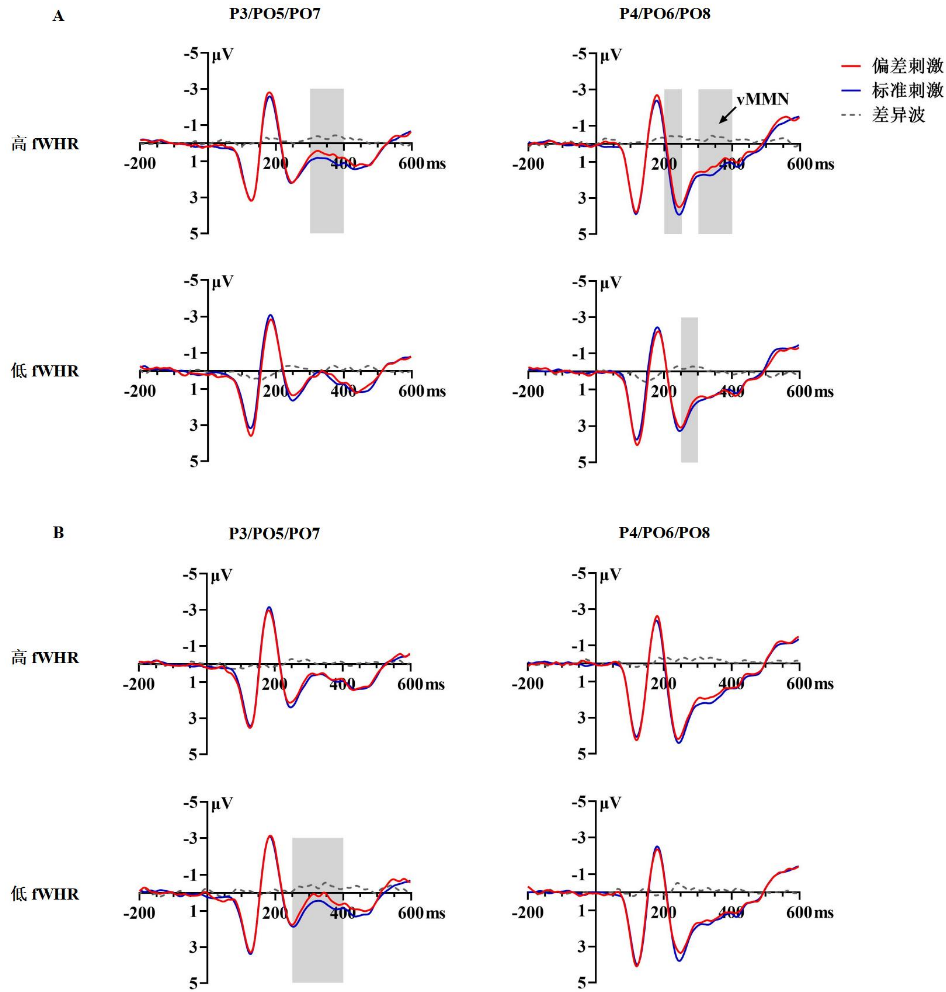


图 4 实验二 ERP 结果波形图。A: 愤怒情绪面孔, B: 恐惧情绪面孔。差异波指的是由偏差刺激减去标准刺激诱发的 ERP 波形; 阴影部分指的是偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负, 即存在 vMMN 的时间窗。

vMMN

基于从聚的置换检验结果显示, 在额叶、中央区和顶叶区域(AF4, F2, F4, F6, FC1, FC2, FC4, CZ, C1, C2, C4, C6, CPZ, CP1, CP2, CP4, CP6, PZ, P1, P2, POZ), 面孔刺激呈现后 194~430ms 标准刺激诱发的波幅较偏差刺激更负。基于从聚的置换检验未发现高、低 fWHR 在不同情绪间诱发 vMMN 的差异。虽然实验二的置换检验未在本研究所感兴趣的电极点上(P3/4, PO5/6, PO7/8)发现 vMMN, 但是考虑到实验二与实验一的逻辑关系，以及对实验一和二结果进行对比的需要，本实验选用与实验一相同的时间窗和电极点对 vMMN 成分平均波幅进行重复测量方差分析。

200~500ms 结果显示, 刺激类型主效应显著, $F(1, 24) = 7.422$, $p = 0.012$, $\eta_p^2 = 0.236$, 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(1.186 ± 0.424 vs. 1.328 ± 0.392 μV, 95% CI = [–0.249, –0.034]), 表明该时间段存在 vMMN 成分。fWHR 主效应显著, $F(1, 24) = 70.097$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.745$, 高 fWHR 诱发的波幅比低 fWHR 更正(1.402 ± 0.408 vs. 1.112 ± 0.407 μV, 95% CI =

[0.218, 0.361])。此外，情绪× fWHR ×半球交互作用显著，$F(1, 24) = 6.287$, $p = 0.019$, $\eta_p^2 = 0.208$，各半球上愤怒情绪高 fWHR 比低 fWHR 诱发更正波幅($ps \leq 0.046$，左半球: 1.130 ± 0.368 vs. 0.754 ± 0.358 μV, 95% CI = [0.259, 0.493]，右半球: 1.461 ± 0.529 vs. 1.315 ± 0.507 μV, 95% CI = [0.003, 0.288])，各半球上恐惧情绪高 fWHR 比低 fWHR 诱发更正波幅($ps \leq 0.001$，左半球: 1.179 ± 0.331 vs. 0.883 ± 0.349 μV, 95% CI = [0.133, 0.459]，右半球: 1.839 ± 0.502 vs. 1.496 ± 0.514 μV, 95% CI = [0.192, 0.493])。

为了更清楚地察不同时间段内愤怒和恐惧情绪高、低宽高比面孔诱发的 vMMN，与实验一一致，接下来我们以 50ms 为时间窗口进行分段统计分析(图 4)。能反映本实验预期的结果是情绪×fWHR×刺激类型出现显著的交互作用，如果简单效应分析能得到愤怒和恐惧情绪高、低 fWHR 能诱发 vMMN(偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负)，那么我们将以 vMMN (偏差刺激诱发的波幅减去标准刺激诱发的波幅)为指标做进一步分析，考察愤怒和恐惧情绪高、低 fWHR 自动加工程度的差异。

200~250ms 结果显示，刺激类型主效应显著，$F(1, 24) = 5.909$, $p = 0.023$, $\eta_p^2 = 0.198$，偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(1.417 ± 0.462 vs. 1.555 ± 0.433 μV, 95% CI = [–0.256, –0.021])。fWHR 主效应显著，$F(1, 24) = 118.363$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.831$；重要的是，情绪× fWHR ×刺激×电极×半球交互作用显著，$F(2, 48) = 3.832$, $p = 0.032$, $\eta_p^2 = 0.138$，在 P4/PO8 电极上愤怒情绪高 fWHR 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(P4: 2.291 ± 0.547 vs. 2.694 ± 0.542 μV, $p = 0.039$, 95% CI = [–0.784, –0.022]; PO8: 1.298 ± 0.669 vs. 1.966 ± 0.664 μV, $p = 0.011$, 95% CI = [–1.166, –0.169])，其他条件差异不显著($ps \geq 0.119$)。

250~300ms 结果显示，刺激类型主效应显著，$F(1, 24) = 12.851$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.349$，偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(2.041 ± 0.551 vs. 2.237 ± 0.530 μV, 95% CI = [–0.309, –0.083])。fWHR 主效应显著，$F(1, 24) = 89.960$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.789$；重要的是，情绪× fWHR ×刺激×电极×半球交互作用显著，$F(2, 48) = 3.488$, $p = 0.044$, $\eta_p^2 = 0.127$，在 PO6 电极上愤怒情绪低 fWHR 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(2.467 ± 0.808 vs. 2.957 ± 0.820 μV, $p = 0.040$, 95% CI = [–0.955, –0.024])，在 PO5 电极上恐惧情绪低 fWHR 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(1.484 ± 0.600 vs. 1.911 ± 0.551 μV, $p = 0.026$, 95% CI = [–0.797, –0.056])。

300~350ms 结果显示，刺激类型主效应显著，$F(1, 24) = 8.056$, $p = 0.009$, $\eta_p^2 = 0.251$，偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(1.101 ± 0.489 vs. 1.291 ± 0.463 μV, 95% CI = [–0.329, –0.052])。fWHR 主效应显著，$F(1, 24) = 86.854$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.783$；重要的是，情绪× fWHR ×刺激×电极×半球交互作用显著，$F(2, 48) = 4.101$, $p = 0.025$, $\eta_p^2 = 0.146$，在

P3/PO5/PO8 电极上愤怒情绪高 fWHR 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(P3: 1.068 ± 0.361 vs. 1.492 ± 0.291 μV, p = 0.009, 95% CI = [–0.731, –0.116]; PO5: 0.689 ± 0.580 vs. 1.097 ± 0.525 μV, p = 0.044, 95% CI = [–0.804, –0.012]; PO8: 0.775 ± 0.636 vs. 1.348 ± 0.702 μV, p = 0.049, 95% CI = [–1.143, –0.002]), 在 PO5 电极上恐惧情绪低 fWHR 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(0.239 ± 0.538 vs. 0.820 ± 0.510 μV, p = 0.022, 95% CI = [–1.069, –0.092])。以 vMMN(PO5)为指标的分析发现, 愤怒情绪高 fWHR 诱发的 vMMN 与恐惧情绪低 fWHR 诱发的 vMMN 无差异, t(24) = 0.649, p = 0.522, 95% CI = [–0.376, 0.722]。

350~400ms 结果显示, 刺激类型主效应显著, $F(1, 24) = 6.866$, $p = 0.015$, $\eta_p^2 = 0.222$, 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(0.965 ± 0.411 vs. 1.121 ± 0.380 μV, 95% CI = [–0.279, –0.033])。fWHR 主效应显著, $F(1, 24) = 15.172$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.387$。虽然情绪× fWHR ×刺激×电极×半球交互作用不显著, $F(2, 48) = 2.515$, $p = 0.098$, $\eta_p^2 = 0.095$, 但是效应量达到中等, 并且主效应发现该时间段存在 vMMN, 为了明确愤怒和恐惧情绪高、低宽高比面孔诱发的 vMMN, 进一步分析发现, 在 P3 和 PO8 电极上愤怒情绪高 fWHR 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(P3: 0.613 ± 0.307 vs. 0.979 ± 0.229 μV, p = 0.031, 95% CI = [–0.696, –0.036]; PO8: 0.730 ± 0.553 vs. 1.343 ± 0.587 μV, p = 0.035, 95% CI = [–1.180, –0.047]), 在 PO5 电极上恐惧情绪低 fWHR 偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(0.657 ± 0.435 vs. 1.109 ± 0.390 μV, p = 0.035, 95% CI = [–0.870, –0.035])。

400~450ms 结果显示, fWHR 主效应显著, $F(1, 24) = 4.318$, $p = 0.049$, $\eta_p^2 = 0.152$; fWHR × 半球的交互作用显著, $F(1, 24) = 6.2252$, $p = 0.020$, $\eta_p^2 = 0.206$, 左半球上高 fWHR 诱发的波幅比低 fWHR 更正(1.153 ± 0.341 vs. 0.950 ± 0.339 μV, p = 0.004, 95% CI = [0.071, 0.334])。刺激类型×电极的交互作用显著, $F(2, 48) = 5.981$, $p = 0.016$, $\eta_p^2 = 0.199$, 仅在 PO7/8 电极上表现为偏差刺激诱发的波幅较标准刺激更负(1.049 ± 0.446 vs. 1.282 ± 0.388 μV, p = 0.044, 95% CI = [–0.460, –0.007]), 其他条件差异不显著($ps \geq 0.199$)。

450~500ms 结果显示, fWHR 主效应显著, $F(1, 24) = 9.170$, $p = 0.006$, $\eta_p^2 = 0.276$, 高 fWHR 诱发的波幅比低 fWHR 更正(0.682 ± 0.361 vs. 0.543 ± 0.536 μV, 95% CI = [0.044, 0.234])。

总之, 在 200~450ms 时间窗口内 fWHR 都能诱发 vMMN 成分。具体表现为, 愤怒情绪高 fWHR 在 200~250ms 和 300~400ms 能诱发 vMMN, 而恐惧情绪低 fWHR 在左半球(PO5) 250~400ms 能诱发 vMMN; 愤怒情绪高 fWHR 和恐惧情绪低 fWHR 在相同时间段和电极上诱发的 vMMN 不存在显著差异。此外, 愤怒情绪低 fWHR 在右半球(PO6) 250~300ms 能诱

发 vMMN。这说明，愤怒情绪主要促进高宽高比面孔的自动加工，而恐惧情绪促进低宽高比面孔的自动加工；但是，二者对宽高比自动加工的促进程度不存在差异。需要注意的是，本实验在对 200~500ms 整个时间窗口分析时发现 fWHR 在此时间段能诱发 vMMN 成分，未发现与本实验研究目的对应的结果，即情绪× fWHR ×刺激类型显著的交互作用，而仅在分时间窗分析时发现了与上述交互作用有关的结果。这说明，非中性情绪面孔高低宽高比信息的自动加工可能存在时间窗的差别。其原因可能与情绪的加工有关，情绪自动加工的元分析发现，非中性情绪面孔在 200~400ms 能诱发 vMMN，但是，不同情绪自动加工的时间窗又存在差别(曾宪卿 等, 2021)，这可能在一定程度上影响了作为知觉信息 fWHR 的自动加工，因而，本实验整体分析时未得到上述交互作用。

4　实验一 vs. 实验二

虽然有研究发现，与中性情绪面孔相比，个体表现出的愤怒情绪会增加其面孔宽高比，恐惧情绪会降低其面孔宽高比(Merlhiot et al., 2021)，但是，对本研究实验一和实验二使用的不同情绪面孔宽高比的值进行 2 (fWHR：低、高) × 3 (面孔情绪：中性、愤怒、恐惧)的统计分析并未发现情绪对 fWHR 值的影响，$F(2, 4) = 1.119$, $p = 0.411$。这与 Merlhiot 等人(2021)的实验结果不一致，其原因可能与本研究两个实验使用的是不同身份面孔有关。同时，这在一定程度上增加了接下来对本研究两个实验间 vMMN 比较的有效性，中性与愤怒情绪高宽高比以及中性与恐惧情绪低宽高比自动加工程度的差异较少或不受不同情绪宽高比差异的影响。对两个实验行为结果进行 2 (fWHR：低、高) × 3 (面孔情绪：中性、愤怒、恐惧)的统计分析仅在反应时上发现 fWHR ×情绪的交互作用显著，$F(2, 88) = 5.864$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.118$，进一步分析发现，对于高 fWHR 目标，中性情绪的反应时显著快于愤怒情绪($p = 0.020$)，其他情绪之间的差异均不显著($p \geq 0.307$)。此外，对两个实验面孔情绪强度和认同度的值分别进行 2 (fWHR：低、高) × 3 (面孔情绪：中性、愤怒、恐惧)的统计分析也并未发现任何显著差异($ps \geq 0.232$)。

为了进一步探讨面孔情绪线索明确性对高低 fWHR 自动加工程度的影响，我们对比了高 fWHR 中性和愤怒情绪面孔以及低 fWHR 中性和恐惧情绪面孔诱发的 vMMN。结果发现，对于高 fWHR，中性情绪和愤怒情绪均在 200~250ms 的 P4 电极，300~350ms 的 P3/PO5/PO8 电极，350~400ms 的 P3/PO8 电极上诱发 vMMN(表 1)。进一步对这些时间点和电极上诱发的 vMMN 进行独立样本 t 检验发现，在 300~350ms 的 PO5/PO8 和 350~400ms 的 PO8 电极上，中

性比愤怒情绪面孔诱发更大的 vMMN (300~350ms 的 PO5: $t(64) = –3.654$, $p = 0.001$, Cohen's $d = 0.272$, 95% CI = [–2.180, –0.639]; 300~350ms 的 PO8: $t(64) = –3.455$, $p = 0.001$, Cohen's $d = 0.289$, 95% CI = [–2.581, –0.690]; 350~400ms 的 PO8: $t(64) = –3.279$, $p = 0.002$, Cohen's $d = 0.305$, 95% CI = [–2.538, –0.617])。对于低 fWHR，中性情绪和恐惧情绪诱发的 vMMN 在时间点和电极上未发现重叠(表 2)，因而没有做进一步的分析。总之，这表明，面孔情绪线索明确性影响高 fWHR 自动加工程度；相比于中性情绪，愤怒情绪减弱高 fWHR 的自动加工程度。

表 1 中性和愤怒情绪高 fWHR 诱发的 vMMN

时间窗口	面孔情绪	电极					
		P3	P4	PO5	PO6	PO7	PO8
200~250ms	中性		0.040		0.037	0.050	
	愤怒		0.039				0.011
250~300ms	中性	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
	愤怒						
300~350ms	中性	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
	愤怒	0.009		0.044			0.049
350~400ms	中性	0.024	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	愤怒	0.031					0.035

注：表中数值为各条件下偏差刺激较标准刺激诱发的波幅更负的 p 值。

表 2 中性和恐惧情绪低 fWHR 诱发的 vMMN

时间窗口	面孔情绪	电极					
		P3	P4	PO5	PO6	PO7	PO8
200~250ms	中性		0.014		0.001		0.001
	恐惧						
250~300ms	中性						
	恐惧			0.026			
300~350ms	中性		0.019		0.010		0.031
	恐惧			0.022			
350~400ms	中性						
	恐惧			0.035			

注：表中数值为各条件下偏差刺激较标准刺激诱发的波幅更负的 p 值。

5 讨论

本研究通过考察高低面孔宽高比诱发的 vMMN 为高低面孔宽高比在前注意加工阶段表征某个体实际攻击性或预测他人评价该个体攻击性上的差异提供新的视角。实验一采用中性情绪面孔考察高低面孔宽高比诱发的 vMMN，结果发现，高 fWHR 在 200~500ms 诱发了 vMMN，低 fWHR 仅在 200~250ms 和 300~350ms 诱发了 vMMN。更为重要的是，高 fWHR 比低 fWHR 在 300~350ms 诱发更大的 vMMN。这表明，大脑在前注意加工阶段能区分出高

低面孔宽高比，并且对高 fWHR 的自动加工程度更大。为了进一步考察面孔情绪线索明确时高低 fWHR 的自动加工，实验二呈现带有愤怒和恐惧情绪的面孔，结果发现，愤怒情绪高 fWHR 在 200~250ms 和 300~400ms 以及愤怒情绪低 fWHR 在右半球 250~300ms 能诱发 vMMN，而恐惧情绪低 fWHR 在左半球 250~400ms 能诱发 vMMN。这表明，愤怒和恐惧情绪分别促进了高、低 fWHR 的自动加工，并且愤怒情绪高 fWHR 的自动加工早于恐惧情绪低 fWHR 的自动加工。对比实验一和二的结果发现，愤怒情绪较中性情绪减弱了高 fWHR 的自动加工程度。

已有研究发现，面孔构形信息可以进行自动加工(Wang et al., 2022)。与此一致，本研究发现隶属于面孔构形信息的 fWHR 也能诱发 vMMN，进行自动加工。更重要的是，本研究实验一进一步发现高低 fWHR 的自动加工不仅在时间窗上不同，而且在自动加工程度上也存在差异。具体表现为，当面孔为中性情绪时，相比低 fWHR，高 fWHR 自动加工的时间窗较长，并且在 300~350ms 自动加工程度更大，这与我们的预期一致。这一结果可能与 fWHR 被感知的攻击性水平有关，已有研究发现，相比于低 fWHR，个体对高 fWHR 的攻击性感知较高(Carré et al., 2009)，因而，与潜在威胁更密切的高 fWHR 的自动加工程度较大，时间较长。

此外，这一结果可能还与 fWHR 所表征的情绪线索有关。情绪研究发现, P1 和 N170 分别对愤怒和恐惧情绪较敏感(Batty & Taylor, 2003)，这表明，愤怒和恐惧可能在加工时间进程上存在差异。最近的一项关于情绪面孔诱发 vMMN 的元分析研究显示，虽然鲜有研究同时关注或对比愤怒和恐惧情绪诱发的 vMMN (曾宪卿 等, 2021)，但是，对比不同的研究发现, 愤怒和恐惧诱发的 vMMN 分别出现在 100~500ms (Kovarski et al., 2017)和 180~220ms (Chen et al., 2020)。这表明，愤怒和恐惧面孔在加工时间进程上存在差异，愤怒情绪的自动加工时程长于恐惧。与此同时，面孔宽高比的行为研究发现，中性情绪高 fWHR 更多被感知为愤怒情绪，而低 fWHR 更多被感知为恐惧情绪(Deska et al., 2018; Merlhiot et al., 2021)。因而，高低 fWHR 分别表征的愤怒和恐惧情绪可能导致了我们实验一得到的结果，高 fWHR 比低 fWHR 的自动加工时程较长。

再者，高低 fWHR 诱发 vMMN 的差异可能与愤怒和恐惧情绪表达不同类型的威胁性社会信号有关。愤怒表情意味着表达该表情的个体将要出现攻击性行为，而恐惧表情意味着表达该表情的个体感知到环境中潜在的威胁信息(Adams et al., 2003)，因而，相比于恐惧表情，被试感知愤怒表情表达的直接威胁性可能较大，其自动加工程度和时程也可能大于恐惧情绪。这与已有研究发现的情绪面孔不仅仅是通过基础的视觉特征或其简单组合来诱发 vMMN，而是通过情绪类别信息诱发 vMMN 相吻合(Li et al., 2012; Stefanics et al., 2012)。与

fWHR 所被感知的情绪线索解释一致，我们实验二进一步发现，当面孔呈现愤怒和恐惧情绪时，二者分别促进了高、低 fWHR 的自动加工。这表明，情绪信息可能在前注意加工阶段面孔宽高比表征某个体实际攻击性或预测他人评价该个体攻击性水平中起重要作用。与此同时，由于愤怒表情表达的直接威胁性较大，因而愤怒情绪低 fWHR 在一定程度上也能诱发 vMMN，进行自动加工。

根据已有研究提到的面孔情绪在 fWHR 预测他人评价某个体攻击性水平中的作用(Carré et al., 2009)，我们预期愤怒情绪高 fWHR 的自动加工程度高于中性情绪高 fWHR 的自动加工。但是，我们通过对比实验一和实验二发现，中性情绪较愤怒情绪增强了高 fWHR 晚期(300~400ms)的自动加工程度。这可能与面孔情绪自身的自动加工有关，虽然面孔是任务无关的面孔刺激，但是，被试在完成简单的探测任务时面孔刺激呈现在视野中央，注意在一定程度上可能会被面孔所吸引。尤其是相对于中性情绪而言，其他具体情绪作为一种更重要的社会互动信号更可能会自动捕获被试的注意，进行自动加工(曾宪卿 等, 2021)。研究发现，愤怒和恐惧情绪的自动加工不仅开始时间较早而且持续时间较长(Chen et al., 2020; Kovarski et al., 2017)。同时，我们实验二的行为结果发现，当呈现愤怒面孔时，被试对注视点大小探测的反应时较长；实验一和二的行为结果对比也发现，对于高 fWHR 目标，被试对愤怒情绪面孔的反应时慢于中性情绪。这说明，表征直接威胁性较大的愤怒面孔可能更多吸引了被试的注意，这在一定程度上可能减弱了作为知觉信息面孔宽高比的自动加工程度。另一方面，上述结果可能还与本研究对不同情绪面孔宽高比的控制有关。已有研究发现，与中性情绪面孔相比，个体表现出的愤怒情绪会增加其面孔宽高比(Merlhiot et al., 2021)，进而可能会提高其被感知的攻击性水平。但是，本研究通过对比实验一二面孔宽高比的值发现，中性与愤怒情绪高宽高比的值不存在显著差异，这在一定程度上可能减弱了个体对愤怒情绪面孔攻击性的感知，进而也可能减弱其自动加工的程度。与 Geniole 等人(2015)观点一致，这表明，面孔宽高比在预测他人评价某个体攻击性时是否与面孔情绪有关仍有待进一步研究。

另外，实验一发现的中性情绪高低 fWHR 自动加工程度的差异表现在较晚的 300~350ms，这可能与情绪信息的加工时间进程机制有关，有研究发现，枕颞叶区较晚的 P3(350~500ms)和 N300(250~350ms)成分能区分出具体面孔情绪(Luo et al., 2010)。与实验一结果相反，虽然实验二发现在 PO5 电极上愤怒高 fWHR 和恐惧低 fWHR 在 300~350ms 都能诱发 vMMN，但是此时间段二者诱发的 vMMN 大小不存在差异。这可能也与具体情绪捕获一定的注意减弱面孔宽高比自动加工程度有关。尽管研究者对面孔刺激敏感的 N170 成分上得到的偏差刺激较标准刺激诱发波幅更负的结果反映的是心理不应期还是刺激的自动加工存在争议(Kimura

et al., 2009)，但是，本研究实验一在 N170 成分上发现高 fWHR 偏差刺激较标准刺激诱发波幅更负，而实验二在 N170 成分上并未发现与此相似的结果。这在一定程度上也表明，愤怒和恐惧情绪 fWHR 的自动加工可能由于受情绪自动加工的影响而小于中性情绪 fWHR 的自动加工。此外，有研究者可能会质疑面孔宽高比刺激物理属性上的差异对 vMMN 的影响，因而，本研究分析了早期对刺激物理属性较敏感的 P1 成分，实验一和实验二都没有在 P1 成分上发现高低 fWHR 间的差异，这也与我们的预期一致，同属于面孔构形信息的高低宽高比在 P1 成分上不存在差异。N170 对宽高比的敏感性因情绪而异，仅在愤怒情绪上发现 N170 对高 fWHR 较敏感，这可能也与此条件预测他人评价该个体面孔的攻击性较高有关。本研究实验一还显示 fWHR 的自动加工在多个时间段存在右半球优势，这与已有研究发现的中性情绪面孔构形加工存在右半球偏侧化效应一致(Wang & Fu, 2018)。

需要注意的是，实验一和二基于从聚的置换检验中都发现标准刺激和偏差刺激的差异分布在更广的时间和空间上，这在一定程度上补充和拓展了我们 ERP 分析的结果。实验一置换检验分析的结果与 ERP 结果较一致，高 fWHR 不仅能在更广的时间和空间上诱发 vMMN，而且其诱发的 vMMN 大于低 fWHR，这在枕颞叶、额叶和中央电极区都有体现。高 fWHR 在额叶以及中央区域能进行自动加工，这可能与上述区域参与攻击性反应加工有关(Peterson et al., 2008)。但是，实验二置换检验的结果不同于 ERP 结果，未发现愤怒和恐惧情绪在促进高低 fWHR 自动加工中的作用。这可能与两种方法的侧重点有关，ERP 分析侧重于对单个电极或者电极组上特定时间窗内的脑电信号进行分析，基于从聚的置换检验则是对脑电信号在所有电极和所有时间样本上进行比较(Sassenhagen & Draschkow, 2019)。实验二 ERP 分析得出的交互作用结果出现的电极点比较分散，而基于从聚的置换检验不太可能检测到定位于少数电极以及时间点的非常集中的效应(Groope et al., 2011)。此外，在对基于从聚的置换检验结果进行解释时，Sassenhagen 和 Draschkow (2019)认为某从聚的显著性仅仅代表其从聚水平统计量在此类统计中的分布位置，而不能使用该统计结果去推论效应在空间、时间或者频率上的定位，并且该方法导致结果中效应潜伏期的偏差。基于从聚的置换检验的优越性在于确定效应存在而非定位效应具体时间以及位置(Groope et al., 2011)，同时参考已有研究对置换检验的分析，本研究将其作为对 ERP 结果的探索性分析。

最后，本研究尚有一定的局限。虽然已有面孔 vMMN 的研究常常把任务无关的面孔至于视野中央(Kecskés-Kovács et al., 2013; Kovarski et al., 2017)，但是，如上所述，这种操作方法可能不能保证面孔刺激完全处于非注意状态，尤其是实验二中的呈现的愤怒和恐惧情绪面孔可能会自动吸引个体的注意影响 fWHR 的自动加工，因而，将来的研究可以考虑把面孔

刺激呈现在视野周围以增加面孔非注意的可能性。其次，参考已有研究(Carré & McCormick, 2008; Carré et al., 2009; Carré et al., 2010; Stirrat et al., 2012)，本研究只采用了男性面孔，尚未考察女性面孔宽高比自动加工的机制；因而，本研究的结论是否适用于女性面孔尚不明确。最后，关于两个实验中刺激比例的问题。根据 GPower 计算，两个实验的被试数量有较大的差别，实验二的被试数量较实验一少，为了能在实验二中得到偏差刺激诱发的较稳定的波形，因而，我们调整了实验二各刺激类型的比例，增加了偏差刺激的比例，由实验一的 10%调整到实验二的 20%。我们实验中使用的这两种刺激比例的分配情况在已面孔 vMMN 研究中经常用到(Kecskés-Kovács et al., 2013; Stefanics et al., 2012; Wang et al., 2022)，并且尚未有研究说明不同刺激的比例会影响 vMMN(Stefanics et al., 2014, a review for vMMN)，但是，使用同一刺激比例可能更能增加实验间比较的说服力。

6 结论

本研究不仅发现面孔宽高比信息能进行自动加工，而且发现高 fWHR 比低 fWHR 的自动加工时程更长，程度更大。这可能与其在表征某个体实际攻击性或预测他人评价该个体面孔攻击性时分别被感知为愤怒和恐惧情绪有关，我们进一步发现，愤怒和恐惧情绪分别促进了高低 fWHR 的自动加工，但是，愤怒情绪较中性情绪减弱了高 fWHR 的自动加工程度。总之，本研究结果表明情绪可能在面孔宽高比的前注意加工阶段起重要作用。

参考文献

Adams, R. B., Gordon, H. L., Baird, A. A., Ambady, N., & Kleck, R. E. (2003). Effects of gaze on amygdala sensitivity to anger and fear faces. *Science*, *300*(5625), 1536–1536. https://doi.org/10.1126/science.1082244

Batty, M., & Taylor, M. J. (2003). Early processing of the six basic facial emotional expressions. *Cognitive Brain Research*, *17*(3), 613–620. https://doi.org/10.1016/S0926-6410(03)00174-5

Carré, J. M., & McCormick, C. M. (2008). In your face: facial metrics predict aggressive behaviour in the laboratory and in varsity and professional hockey players. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, *275*(1651), 2651–2656. https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0873

Carré, J. M., McCormick, C. M., & Hariri, A. R. (2011). The social neuroendocrinology of human aggression. *Psychoneuroendocrinology*, *36*(7), 935–944. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.02.001

Carré, J. M., McCormick, C. M., & Mondloch, C. J. (2009). Facial structure is a reliable cue of aggressive behavior. *Psychological Science*, *20*(10), 1194–1198. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02423.x

Carré, J. M., Morrissey, M. D., Mondloch, C. J., & McCormick, C. M. (2010). Estimating aggression from emotionally neutral faces: Which facial cues are diagnostic? *Perception*, *39*(3), 356–377. https://doi.org/10.1068/p6543

Carré, J. M., Murphy, K. R., & Hariri, A. R. (2013). What lies beneath the face of aggression? *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *8*(2), 224–229. https://doi.org/10.1093/scan/nsr096

Chen, B., Sun, P., & Fu, S. (2020). Consciousness modulates the automatic change detection of masked emotional faces: Evidence from visual mismatch negativity. *Neuropsychologia*, *144*, 107459. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107459

Costa, M., Lio, G., Gomez, A., & Sirigu, A. (2017). How components of facial width to height ratio differently contribute to the perception of social traits. *Plos One*, *12*(2), e0172739. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172739

Csizmadia, P., Petro, B., Kojouharova, P., Gaal, Z. A., Scheiling, K., Nagy, B., & Czigler, I. (2021). Older adults automatically detect age of older adults' photographs: A visual mismatch negativity study. *Frontiers in Human Neuroscience*, *15*, 707702. https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.707702

Czigler, I., Balazs, L., & Winkler, I. (2002). Memory-based detection of task-irrelevant visual changes. *Psychophysiology*, *39*(6), 869–873. https://doi.org/10.1111/1469-8986.3960869

Deska, J. C., Lloyd, E. P., & Hugenberg, K. (2018). The face of fear and anger: facial width-to-height ratio biases recognition of angry and fearful expressions. *Emotion*, *18*(3), 453–464. https://doi.org/10.1037/emo0000328

Eimer, M. (2011). The face-sensitive N170 component of the event-related brain potential. In: Calder A. J. et al. (Eds). *The oxford handbook of face perception* (pp. 329–344). Oxford University Press.

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175–191. https://doi.org/10.3758/BF03193146

Fu, S. M., Fan, S. L., & Chen, L. (2003). Event-related potentials reveal involuntary processing of orientation changes in the visual modality. *Psychophysiology*, *40*(5), 770–775. https://doi.org/10.1111/1469-8986.00077

Geniole, S. N., Denson, T. F., Dixson, B. J., Carré, J. M., & McCormick, C. M. (2015). Evidence from meta-analyses of the facial width-to-height ratio as an evolved cue of threat. *Plos One*, *10*(7), e0132726. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132726

Geniole, S. N., Keyes, A. E., Mondloch, C. J., Carré, J. M., & McCormick, C. M. (2012). Facing Aggression: Cues Differ for Female versus Male Faces. *Plos One*, *7*(1), e30366. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030366

Geniole, S. N., & McCormick, C. M. (2015). Facing our ancestors: Judgements of aggression are consistent and related to the facial width-to-height ratio in men irrespective of beards. *Evolution and Human Behavior*, *36*(4), 279–285. https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2014.12.005

Goetz, S. M. M., Shattuck, K. S., Miller, R. M., Campbell, J. A., Lozoya, E., Weisfeld, G. E., & Carré, J. M. (2013). Social status moderates the relationship between facial structure and aggression. *Psychological Science*, *24*(11), 2329–2334. https://doi.org/10.1177/0956797613493294

Gong, X., Huang, Y. X., Wang, Y., & Luo, Y. J. (2011). Revision of the Chinese facial affective picture system. *Chinese Mental Health Journal, 25*(1), 40–46.

[龚栩，黄宇霞，王妍，罗跃嘉. (2011). 中国面孔表情图片系统的修订. *中国心理卫生杂志, 25*(1), 40–46.]

Groppe, D. M., Urbach, T. P., & Kutas, M. (2011). Mass univariate analysis of event-related brain potentials/fields I: A critical tutorial review. *Psychophysiology*, *48*(12), 1711–1725. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01273.x

Haselhuhn, M. P., Ormiston, M. E., & Wong, E. M. (2015). Men's facial width-to-height ratio predicts aggression: A meta-analysis. *Plos One*, *10*(4), e0122637. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122637

Haselhuhn, M. P., & Wong, E. M. (2012). Bad to the bone: Facial structure predicts unethical behaviour. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, *279*(1728), 571–576. https://doi.org/10.1098/rspb.2011.1193

Haselton, M. G., & Funder, D. C. (2006). The evolution of accuracy and bias in social judgment. In: Schaller M. et al. (Eds.). *Evolution and social psychology* (pp. 15–37). Psychosocial Press.

Hehman, E., Leitner, J. B., Deegan, M. P., & Gaertner, S. L. (2013). Facial structure is indicative of explicit support for prejudicial beliefs. *Psychological Science*, *24*(3), 289–296. https://doi.org/10.1177/0956797612451467

Hehman, E., Leitner, J. B., & Gaertner, S. L. (2013). Enhancing static facial features increases intimidation. *Journal of Experimental Social Psychology*, *49*(4), 747–754. https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.02.015

Itier, R. J., Latinus, M., & Taylor, M. J. (2006). Face, eye and object early processing: What is the face specificity? *Neuroimage, 29*, 667–676. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.07.041

Kecskés-Kovács, K., Sulykos, I., & Czigler, I. (2013). Is it a face of a woman or a man? Visual mismatch negativity is sensitive to gender category. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 532. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00532

Kimura, M., Katayama, J., Ohira, H., & Schroeger, E. (2009). Visual mismatch negativity: New evidence from the equiprobable paradigm. *Psychophysiology*, *46*(2), 402–409. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00767.x

Kovarski, K., Latinus, M., Charpentier, J., Clery, H., Roux, S., Houy-Durand, E., Saby, A., Bonnet-Brilhault, F., Batty, M., & Gomot, M. (2017). Facial expression related vMMN: Disentangling emotional from neutral change detection. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, 18. https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00018

Kreegipuu, K., Kuldkepp, N., Sibolt, O., Toom, M., Allik, J., & Näätänen, R. (2013). vMMN for schematic faces: Automatic detection of change in emotional expression. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 714. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00714

Lefevre, C. E., Etchells, P. J., Howell, E. C., Clark, A. P., & Penton-Voak, I. S. (2014). Facial width-to-height ratio predicts self-reported dominance and aggression in males and females, but a measure of masculinity does not. *Biology Letters*, *10*(10), 20140729. https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0729

Lefevre, C. E., Lewis, G. J., Perrett, D. I., & Penke, L. (2013). Telling facial metrics: Facial width is associated with testosterone levels in men. *Evolution and Human Behavior*, *34*(4), 273–279. https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2013.03.005

Li, X., Lu, Y., Sun, G., Gao, L., & Zhao, L. (2012). Visual mismatch negativity elicited by facial expressions: New

evidence from the equiprobable paradigm. *Behavioral and Brain Functions*, *8*, 7. https://doi.org/10.1186/1744-9081-8-7

Luo, W., Feng, W., He, W., Wang, N., & Luo, Y. (2010). Three stages of facial expression processing: ERP study with rapid serial visual presentation. *Neuroimage, 49*(2), 1857–1867. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.09.018

Maris, E., & Oostenveld, R. (2007). Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data. *Journal of Neuroscience Methods, 164*(1), 177–190. https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.03.024

Merlhiot, G., Mondillon, L., Meot, A., Dutheil, F., & Mermillod, M. (2021). Facial width-to-height ratio underlies perceived dominance on facial emotional expressions. *Personality and Individual Differences*, *172*, 110583. https://doi.org/10.1016/j.paid.2020.110583

Peterson, C. K., Shackman, A. J., & Harmon-Jones, E. (2008). The role of asymmetrical frontal cortical activity in aggression. *Psychophysiology*, *45*(1), 86–92. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00597.x

Sassenhagen, J., & Draschkow, D. (2019). Cluster-based permutation tests of MEG/EEG data do not establish significance of effect latency or location. *Psychophysiology*, e13335. https://doi.org/10.1111/psyp.13335

Smith, M. L., Cottrell, G. W., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2005). Transmitting and decoding facial expressions. *Psychological Science, 16*, 184–189. https://doi.org/10.2307/40064199

Stefanics, G., Csukly, G., Komlosi, S., Czobor, P., & Czigler, I. (2012). Processing of unattended facial emotions: A visual mismatch negativity study. *Neuroimage*, *59*(3), 3042–3049. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.10.041

Stefanics, G., Kremlacek, J., & Czigler, I. (2014). Visual mismatch negativity: A predictive coding view. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 666. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00666

Stirrat, M., Stulp, G., & Pollet, T. V. (2012). Male facial width is associated with death by contact violence: Narrow-faced males are more likely to die from contact violence. *Evolution and Human Behavior*, *33*(5), 551–556. https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2012.02.002

Sulykos, I., & Czigler, I. (2011). One plus one is less than two: Visual features elicit non-additive mismatch-related brain activity. *Brain Research*, *1398*, 64–71. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.05.009

Vormbrock, R., Bruchmann, M., Menne, L., Straube, T., & Schindler, S. (2023). Testing stimulus exposure time as the critical factor of increased EPN and LPP amplitudes for fearful faces during perceptual distraction tasks. *Cortex*, *160*, 9–23. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2022.12.011

Wang, H., Chen, E., Li, J., Ji, F., Lian, Y., & Fu, S. (2022). Configural but not featural face information is associated with automatic processing. *Frontiers in Human Neuroscience, 16*, 884823. https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.884823

Wang, H., & Fu, S. (2018). Spatial attention modulates the temporal sequence of hemispheric asymmetry in configural and featural face processing. *Neuropsychologia*, *111*, 269–275. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.01.029

Wang, H., Guo, S., & Fu, S. (2016). Double dissociation of configural and featural face processing on P1 and P2 components as a function of spatial attention. *Psychophysiology*, *53*(8), 1165–1173. https://doi.org/10.1111/psyp.12669

Wang, H., Qiu, R., Li, W., Li, S., & Fu, S. (2020). Cultural differences in the time course of configural and featural processing for own-race faces. *Neuroscience*, *446*, 157–170. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.08.003

Wang, H., Sun, P., Ip, C., Zhao, X., & Fu, S. (2015). Configural and featural face processing are differently modulated by attentional resources at early stages: An event-related potential study with rapid serial visual

presentation. *Brain Research*, *1602*, 75–84. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.01.017
Wang, W., Miao, D., & Zhao, L. (2014). Automatic detection of orientation changes of faces versus non-face objects: A visual MMN study. *Biological Psychology*, *100*, 71–78. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.05.004
Weston, E. M., Friday, A. E., & Lio, P. (2007). Biometric evidence that sexual selection has shaped the hominin face. *Plos One*, *2*(8), e710. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000710
Wong, E. M., Ormiston, M. E., & Haselhuhn, M. P. (2011). A face only an investor could love: CEOs' facial structure predicts their firms' financial performance. *Psychological Science*, *22*(12), 1478–1483. https://doi.org/10.1177/0956797611418838
Zeng, X. Q., Xu, B., Sun, B., Ye, J. T., & Fu, S. M. (2021). EMMN varies with deviant-standard stimulus pair type and emotion type: Evidence from a meta-analysis study. *Advances in Psychological Science*(07), 1163–1178.
[曾宪卿，许冰，孙博，叶健彤，傅世敏.(2021).EMMN 受偏差-标准刺激对类型和情绪类型影响:来自元分析的证据. *心理科学进展*(07), 1163–1178.]
Zheng, Z. G., Yu, Z. H., Liao, H., & Liu, J. P. (2017). Can We Judge a Person by His Appearance? ——A Literature Review of Facial Width-to-Height Ratio. *Journal of Psychological Science*(05), 1235–1241.
[郑治国，俞宗火，廖华，刘建平.(2017).能以貌取人吗？面孔宽高比研究述评. *心理科学*(05), 1235–1241.]
Zochowska, A., Nowicka, M. M., Wojcik, M. J., & Nowicka, A. (2021). Self-face and emotional faces-are they alike? *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *16*(6), 593–607. https://doi.org/10.1093/scan/nsab020

Automatic processing of facial width-to-height ratio

WANG Hailing, CHEN Enguang, LIAN Yujing, LI Jingjing, WANG Liwei

(School of Psychology, Shandong Normal University, Jinan 250358, China)

Abstract

The facial width-to-height ratio (fWHR) is a stable perceptual structure of all faces. It is calculated by dividing the face width (the distance between the left and right zygion) by the face height (the distance between the eyebrow and the upper lip). Previous studies have demonstrated that men's facial width-to-height ratio is a reliable clue to noticing aggressive tendencies and behavior. Individuals with higher fWHR were considered by observers as more aggressive than those with lower fWHR. The researchers proposed that this may be related to facial expression. Observers more readily saw anger in faces with a relatively high fWHR and more readily saw fear in faces with a relatively low fWHR. However, it is unclear what the neural mechanism of fWHR is, particularly in the absence of attention. The present study investigated this issue by recording visual mismatch negativity (vMMN), which indicates automatic processing of visual information under unattended conditions.

Participants performed a size-change-detection task on a central cross, while random sequences of faces were presented in the background using a deviant-standard-reverse oddball paradigm. High fWHR faces (deviant stimuli) were presented less frequently among low fWHR faces (standard stimuli), or vice versa. Forty-one and twenty-five Chinese participated in Experiment 1 and 2, respectively. We hypothesized that faces with high fWHR would elicit a larger vMMN compared to faces with low fWHR. If the above result is related to the fact that high fWHR faces appear angrier and low fWHR faces appear more fearful, then high fWHR faces displaying an angry expression would evoke vMMN and low fWHR faces displaying a fearful expression would evoke vMMN.

In Experiment 1, faces with neutral expressions were used. The occipital-temporal vMMN emerged in the latency range of 200~500 ms for faces with high fWHR and in the latency range of 200~250 ms and 300~350 ms for faces with low fWHR. More importantly, faces with high fWHR elicited a higher vMMN than those with low fWHR faces in the 300~350 ms latency range. In Experiment 2, faces with expressions of fear and anger were used. Results showed that

high-fWHR faces displaying an angry expression elicited a vMMN in the 200~250ms and 300~400ms latency ranges, while low-fWHR faces displaying a fearful expression elicited a vMMN in the 250~400ms latency range, especially in the left hemisphere. Comparing Experiment 1 and 2, we found that faces with high fWHR displaying an angry expression elicited smaller vMMN than those displaying a neutral expression.

In conclusion, the present findings suggest that the facial width-to-height ratio is associated with automatic processing and provide new electrophysiological evidence for the different mechanisms underlying high and low fWHR faces under unattended conditions. The results might be related to facial expressions. Consistent with previous studies, the current finding demonstrates that automatic processing of high and low fWHR is promoted by expressions of anger and fear, respectively. At the same time, due to the automatic processing of facial expressions, the automatic processing of faces with high fWHR was weakened by angry faces relative to neutral faces.

Keywords face, facial width-to-height ratio, emotion, vMMN, automatic processing